

# Analisa Keandalan Struktur Akibat Beban Gelombang Pada Kapal Perang Tipe *Corvette*

Teguh Tri Efendi, Aries Sulisetyono, dan Teguh Putranto  
Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail : [sulisea@na.its.ac.id](mailto:sulisea@na.its.ac.id) , [theories@na.its.ac.id](mailto:theories@na.its.ac.id)

**Abstrak**—Kapal perang merupakan kapal yang digunakan untuk kepentingan militer demi mempertahankan kedaulatan bangsa. Untuk menunjang itu semua, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah dalam mendesain struktur kapal. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji desain struktur kapal perang untuk daerah operasional perairan terbuka di Indonesia yang memiliki tinggi rata-rata gelombang sekitar 3-6 m. Pembahasan ini dititikberatkan pada perhitungan nilai keandalan struktur yang diakibatkan oleh tegangan dari beban gelombang. Analisa dilakukan dengan memodelkan kapal menggunakan *Software Poseidon* dan *Software* untuk menghitung RAO untuk mendapatkan nilai tegangan. Metode simulasi *Monte Carlo* digunakan untuk menentukan nilai keandalan Struktur. Variasi dilakukan terhadap tinggi gelombang dan sudut hadap. Dari hasil perhitungan Simulasi Monte Carlo didapatkan nilai keandalan Struktur pada tinggi gelombang 3 m sebesar 0,999 dan probabilitas kegagalan sebesar 0,001, tinggi gelombang 4 m sebesar 0,998 dan probabilitas kegagalan sebesar 0,002 , tinggi gelombang 5 m sebesar 0,955 dan probabilitas kegagalan sebesar 0,045 , dan tinggi gelombang 6 m sebesar 0,805 dan probabilitas kegagalan sebesar 0,195.

**Kata kunci**—Kapal Perang, tegangan , simulasi monte carlo, dan Keandalan Struktur.

## I. PENDAHULUAN

KAPAL perang merupakan kapal yang digunakan untuk kepentingan militer atau angkatan bersenjata demi mempertahankan kedaulatan bangsa. Dengan dilengkapinya persenjataan yang lengkap, kecepatan yang tinggi serta *maneuver* yang baik maka akan membuat kapal perang di Indonesia semakin baik dalam mempertahankan kedaulatan bangsa serta kejayaan maritim Indonesia. Akan tetapi dengan semakin tingginya kecepatan pada kapal perang yang khususnya pada kapal perang korvet, maka akan mempengaruhi keandalan dari struktur yang ada pada kapal tersebut. Selain itu, pengawasan sumber daya laut terhadap tindakan pencurian menjadi salah satu tolok ukur bahwa negara dapat mempertahankan kedaulatan maritimnya. Kegiatan operasi militer yang dilakukan oleh TNI perlu didukung dengan peralatan dan persenjataan yang canggih. Kebutuhan kapal perang tentunya dapat mendukung kinerja TNI untuk menjalankan operasi militernya. Kondisi perairan dengan ketinggian gelombang tertentu dapat menyebabkan kapal mengalami Kegagalan struktur yang dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi pada bagian kapal.

Oleh karena itu, salah satu hal yang harus diperhatikan di dalam mendesain sebuah kapal perang, yaitu kemampuan di

dalam melakukan sebuah penyerangan yang bertujuan untuk mempertahankan sesuatu. Salah satunya ialah, dengan menganalisa pembebanan yang diakibatkan oleh beban gelombang ataupun peralatan persenjataan yang berfungsi untuk memberikan serangan ataupun pertahanan. Untuk analisa selanjutnya bisa dikatakan sangat penting, ialah analisa dari *deck load*, sehingga kapal memiliki tingkat keandalan yang tinggi selama waktu operasinya.

Berdasarkan latar belakang diatas maka perlu dilaksanakannya studi literatur untuk memahami analisa struktur konstruksi berbasis keandalan. Pada penelitian kali ini dilakukan analisa keandalan struktur akibat beban gelombang regular pada kapal perang tipe *corvette*.

## II. DASAR TEORI

### A. Konsep Keandalan

Di dalam desain struktur kapal atau anjungan lepas pantai, tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini karena tidak ada seorang pun yang mampu memprediksi kepastian atau ketidakpastian suatu kejadian tertentu [1].

Oleh karena itu, dalam setiap perancangan pasti mengandung ketidakpastian yang pada akhirnya menimbulkan ketidakandalan dalam suatu tingkatan tertentu. Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu [2].

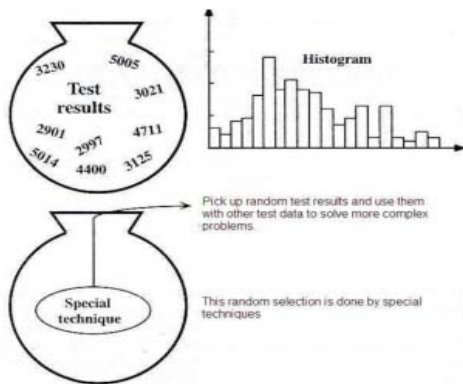
### B. Konsep Ketidakpastian

Pada struktur konstruksi yang modern tentunya isu keamanan merupakan aspek yang paling utama dalam pendesainan. Isu keamanan dalam analisa struktur adalah berkaitan dengan keakurasian dalam hal mendefinisikan ketidakpastian dalam hal pemodelan computer, pembebanan, geometri, proses produksi dan operasional [3].

### C. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis keandalan struktur. Ketika suatu sistem mengandung variable atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung peubah acak, maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan. Unsur pokok dalam simulasi Monte Carlo adalah penggunaan random number generator (RNG).

Prinsipnya, sampel yang diambil berdasarkan RNG tadi akan dipakai sebagai masukan ke dalam fungsi kinerja FK(x), dan harga FK(x) kemudian dihitung. Misalnya untuk suatu fungsi kinerja tertentu, setiap  $FK(x) > 0$ , maka sistem atau komponen dianggap gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah N, maka dicatat jumlah kejadian  $FK(x) > 0$  sejumlah n kali. Dengan demikian maka peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah kejadian yang dilakukan [2].



Gambar 2.1 Skematik metode Monte Carlo [5]

#### D. Kapal perang tipe Corvette

Korvet merupakan jenis kapal perang yang lebih kecil dari fregat dan lebih besar dari kapal patroli pantai, walaupun banyak desain terbaru yang menyamai fregat dalam ukuran dan tugas. Biasanya dimasukan kategori sebagai kapal patroli yang mampu melakukan operasi sergap dan serbu secara mandiri [4]



Gambar 2.2 kapal corvette

Gambar 2.2 merupakan salah satu contoh dari bentuk kapal perang tipe *Corvette*.

#### E. Distribusi WEIBULL

Distribusi weibull adalah persamaan yang biasanya digunakan untuk mengetahui suatu objek berfungsi sebagaimana mestinya atau tidak. Bisa dikatakan bahwa distribusi ini dapat menangani masalah-masalah yang menyangkut lama waktu suatu objek dapat bertahan. Berikut rumus yang digunakan pada distribusi weibull. [2].

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2.1)$$

#### F. Tegangan

Pada suatu penampang, gaya-gaya yang bekerja pada luasan umumnya sangat kecil (infinitesimal areas) pada penampang tersebut bervariasi baik dalam besar maupun arahnya. Gaya dalam merupakan resultan dari gaya-gaya pada luasan yang sangat kecil ini. Intensitas gaya menentukan kemampuan suatu struktur atau material dalam menerima beban (kekuatan) disamping mempengaruhi sifat-sifat kekakuan maupun stabilitas [6]. Apabila dijabarkan dalam rumus adalah sebagai berikut :

$$\sigma = F/A \quad (2.2)$$

dengan :

$\sigma$  : Tegangan ( $N/m^2$ )

F : gaya (Newton)

A : luas ( $m^2$ )

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Pengumpulan data dan Studi literatur.

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku dan referensi lain seperti Tugas Akhir sebelumnya. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisis permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan penelusuran literatur untuk mendapatkan data penunjang.

#### B. Menentukan titik kritis

Penentuan titik kritis dilakukan pada daerah dimana suatu struktur mempunyai nilai tegangan tertinggi apabila diberikan suatu beban kepada stuktur tersebut.

#### C. Uji Statistik untuk menentukan distribusi

Dalam menentukan distribusi ini peneliti tidak sembarang memilih distribusi yang digunakan, melainkan dengan menggunakan bantuan *software statistic*. Dari *software statistic* tersebut kita dapat memasukkan data berupa tegangan yang sudah didapat sebelumnya pada hasil model baru nanti kita bisa melihat distribusi mana yang sesuai dengan data yang peneliti masukkan.

#### D. Menentukan Probablility Density Function (PDF) tegangan

Analisa PDF tegangan yang diperoleh dari tahap 4, dilakukan dengan menggunakan *software statistic*. Dari analisa tersebut akan diperoleh distribusi yang sesuai beserta parameter statistiknya.

#### E. Menentukan persamaan moda

Menentukan persamaan moda kegagalan untuk analisa keandalan struktur. Jadi moda kegagalan ini dijadikan sebagai acuan untuk menentukan apakah suatu struktur mengalami kegagalan atau tidak.

#### F. Menentukan Random Variable

Menentukan *Random Variable* dengan perintah yang ada pada excel yaitu dengan ketik perintah =Rand() maka akan muncul angka yang diinginkan. Namun butuh pembuktian

yang akurat untuk menentukan nilai *Random Variable* yaitu dengan rumus dari distribusi yang sudah didapatkan pada saat uji statistic sebelumnya.

#### G. Simulasi Monte Carlo.

Pada tahap ini dilakukan analisa kenadalan dengan metode Simulasi Monte Carlo. Sehingga pada tahap ini akan didapatkan nilai keandalan struktur.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Tegangan Kapal

Merujuk pada tugas akhir [7] didapatkan hasil tegangan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil tegangan

Significant Wave Height	Wave Heading	Tegangan(N/mm <sup>2</sup> )		Tegangan Ijin (N/mm <sup>2</sup> )	Prosentase
		Topdeck	Bottom		
Hs = 3m	$\mu = 90^\circ$	29.47	25.79	243.4	87.9 %
	$\mu = 135^\circ$	118.52	103.71	243.4	51.3 %
	$\mu = 180^\circ$	121.24	106.08	243.4	50.2 %
Hs = 4m	$\mu = 90^\circ$	40.67	35.58	243.4	83.3 %
	$\mu = 135^\circ$	150.37	131.58	243.4	38.2 %
	$\mu = 180^\circ$	172.37	150.83	243.4	29.2 %
Hs = 5m	$\mu = 90^\circ$	51.08	44.69	243.4	79.0 %
	$\mu = 135^\circ$	170.43	149.12	243.4	30.0 %
	$\mu = 180^\circ$	207.51	181.58	243.4	14.7 %
Hs = 6m	$\mu = 90^\circ$	60.50	52.94	243.4	75.1 %
	$\mu = 135^\circ$	183.84	160.86	243.4	24.5 %
	$\mu = 180^\circ$	231.89	202.90	243.4	4.7 %

#### B. Fit Distribusi

Untuk menghitung Keandalan struktur dibutuhkan distribusi yang akan digunakan pada simulasi Monte Carlo. Salah satu yang dilakukan untuk menentukan distribusi yang digunakan adalah dengan menggunakan *Software statistic "Easyfit"*. Dengan ini peneliti memasukkan data hasil tegangan yang didapatkan. Kemudian dilakukan fit distribusi dan dari fit distribusi tersebut setelah peneliti memasukkan data hasil tegangan maka terdapat ranking distribusi yang dapat digunakan untuk menghitung nilai Keandalan Struktur. Jadi dalam ranking tersebut peneliti ambil ranking yang paling tinggi untuk dijadikan sebagai distribusi yang paling tepat untuk digunakan.

Tabel 4.2 ranking distribusi

Goodness of Fit - Summary							
#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
60	Weibull	0.16669	25	0.77126	4	0.29582	1
59	Weibull	0.16669	24	0.77126	5	0.29582	2
13	Exponential	0.27652	48	2.1117	41	0.51798	3
38	Log-Pearson 3	0.15146	13	0.81103	6	0.58926	4
45	Pareto 2	0.2853	51	2.2395	43	0.59864	5
48	Pearson 6	0.15247	14	0.93105	14	0.66765	6
22	Gen. Gamma	0.1544	16	0.96948	19	0.69364	7
31	Kumaraswamy	0.24	43	25.456	56	0.7	8
20	Gamma (3P)	0.16131	20	0.93967	16	0.71313	9
61	Weibull (3P)	0.15391	15	0.95439	18	0.76607	10

#### C. Hasil nilai Probability Density function

Distribusi weibull yang sudah didapatkan dari proses fit distribusi digunakan untuk menentukan nilai *Probability Density function*. Nilai *Probability Density function* digunakan untuk menghitung dan mengkonversi bilangan

acak yang digunakan pada perhitungan nilai Keandalan Struktur. Dari *Probability Density function* akan didapatkan nilai *shape parameter*( $\alpha$ ) dan *scale parameter*( $\beta$ ).

#### D. Uji Statistik untuk Distribusi Weibull

Sesuai dengan rumus weibull

$$f(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (4.1)$$

Dibutuhkan nilai X yang akan digunakan untuk menghitung nilai tegangan yang sudah dikonversikan untuk disimulasikan dengan simulasi monte carlo. Dimana nilai F(X) adalah probabilitas terambilnya suatu peluang, maka dari rumus tersebut dapat dijabarkan menjadi,

$$\begin{aligned} F(x) &= \frac{1}{\beta^\alpha} x^\alpha \\ 1 - F(x) &= \frac{1}{\beta^\alpha} x^\alpha \\ \frac{x^\alpha}{\beta^\alpha} &= \frac{1}{1 - F(x)} \\ \frac{x^\alpha}{\beta^\alpha} &= \ln\left(\frac{1}{1 - F(x)}\right) \\ x &= \beta \sqrt[\alpha]{\ln\left(\frac{1}{1 - F(x)}\right)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

#### E. Moda Kegagalan.

Moda kegagalan merupakan acuan ataupun patokan yang digunakan untuk menilai suatu produk atau obyek yang diteliti. Moda kegagalan tersebut dapat dijadikan acuan, apabila nilai tegangan actual dibagi dengan tegangan ijin bernilai negative dan atau lebih dari satu maka nilai keandalan strukturnya bisa dikatakan gagal. Sedangkan, jika tegangan actual dibagi dengan tegangan ijin bernilai kurang dari sama dengan 1, maka nilai keandalan strukturnya bisa dikatakan berhasil.

$$\text{Moda Kegagalan} = \frac{\sigma_{aktual}}{\sigma_{ijin}} \leq 1 \quad (4.3)$$

#### F. Nilai Acak

Nilai acak disini berfungsi sebagai probabilitas yang digunakan dalam persamaan rumus weibull. Untuk melakukan pembuktian apakah rumus yang dipakai dengan nilai acak sudah sesuai apa tidak bisa dibuktikan dengan memasukkan nilai tegangan sembarang.

#### G. Analisa Keandalan Struktur dengan simulasi Monte carlo

Dalam menghitung nilai keandalan struktur dibutuhkan moda kegagalan dan juga data acak yang sudah ditentukan di

Sub Bab sebelumnya. Sehingga tinggal mengikuti algoritma perhitungan Keandalan Struktur.

Dalam menentukan nilai keandalan struktur peneliti melakukan iterasi dari 10, 100, 1000, 10.000, 100.000, sampai 1.000.000. Iterasi ini dilakukan agar mendapatkan data yang valid dan mendapatkan nilai keandalan struktur yang benar-benar sesuai dengan apa yang sudah dikerjakan. Dan peneliti juga menyajikan nilai keandalan struktur dalam bentuk tabel dan juga kurva *trendline* untuk mempermudah peneliti dan pembaca dalam menganalisa hasil dari perhitungan nilai Keandalan struktur.

Sesuai dengan algoritma perhitungan keandalan struktur dengan simulasi Monte Carlo didapatkan hasil nilai Keandalan struktur.

Tabel 4.1 Hasil keandalan struktur pada tinggi gelombang 3 m

3 meter			
No	Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan
1	10	0.000000	1.000000
2	100	0.000000	1.000000
3	1000	0.000000	1.000000
4	10000	0.000000	1.000000
5	100000	0.000000	1.000000
6	1000000	0.000001	0.999999

Tabel 4.2 Hasil keandalan struktur pada tinggi gelombang 4 m

4 meter			
No	Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan
1	10	0.000000	1.000000
2	100	0.000000	1.000000
3	1000	0.003000	0.997000
4	10000	0.003000	0.997000
5	100000	0.002280	0.997720
6	1000000	0.002234	0.997766

Tabel 4.3 Hasil keandalan struktur pada tinggi gelombang 5 m

5 meter			
No	Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan
1	10	0.000000	1.000000
2	100	0.030000	0.970000
3	1000	0.040000	0.960000
4	10000	0.046800	0.953200
5	100000	0.044880	0.955120
6	1000000	0.044978	0.955022

Tabel 4.1 Hasil keandalan struktur pada tinggi gelombang 3 m

6 meter			
No	Jumlah Simulasi	Pof	Keandalan
1	10	0.000000	1.000000
2	100	0.160000	0.840000
3	1000	0.189000	0.811000
4	10000	0.192000	0.808000
5	100000	0.193740	0.806260
6	1000000	0.194677	0.805323

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada 10 kali simulasi memiliki nilai keandalan struktur sebesar 1.
2. Dilihat dari *Trendline* yang ada nilai Keandalan Struktur mengalami penurunan seiring dengan banyaknya simulasi yang dilakukan.
3. Pada tinggi gelombang 3 meter nilai keandalan struktur 0.999 dan pada ketinggian 6 meter nilai keandalan strukturnya 0,805. Sehingga semakin tinggi beban gelombang yang diberikan pada suatu kapal, maka Nilai Keandalan Struktur juga semakin Kecil.
4. Dari hasil perhitungan Simulasi Monte Carlo didapatkan nilai keandalan Struktur pada tinggi gelombang 3 m sebesar 0,999 dan probabilitas kegagalan sebesar 0.001, tinggi gelombang 4 m sebesar 0,998 dan probabilitas kegagalan sebesar 0.002, tinggi gelombang 5 m sebesar 0,955 dan probabilitas kegagalan sebesar 0.045, dan tinggi gelombang 6 m sebesar 0,805 dan probabilitas kegagalan sebesar 0.195.

### B. Saran

Adapun saran dalam penelitian kali ini :

1. Agar mendapatkan nilai Keandalan Struktur yang lebih akurat lagi, maka dibutuhkan Simulasi yang lain lagi sebagai pembandingan dengan Simulasi Monte Carlo yang digunakan.
2. Variasi pembebanan yang diberikan sebaiknya lebih banyak lagi. Agar data yang diperoleh juga lebih akurat. Bisa diberikan lebih banyak tinggi gelombangnya, sudut hadap yang digunakan dan juga variasi kecepatan kapal.
3. Sebaiknya dalam penggunaan distribusi eibull data yang diolah termasuk data *long term statistic* bukan *short term statistic*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baker, M. J., & Wyatt, T. A. (1979). *Methods of reability Analysis for jacket platform*. London: Journal of Behavior of Offshore Structure.
- [2] BKI. (1996). *Rules For elding*. Jakarta.

- [3] Choi, S. K., Grandhi, R. V., Canfield, & Robert, A. (2006). *Reliability Based Structure Design*. London: Spinge Science.
- [4] Perdana, D. I. (2013). *Analisa Beban Gelombang pada Konstruksi Kapal Perang Tipe Corvette di Kondisi Perairan Indonesia*. Surabaya: Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Nowak, A. S., & Collin, K. R. (2000). *Reliability of structure*. Singapore: Mc Graw Hill.
- [6] Rosyid, D. M. (2007). *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- [7] Arianto, P. Y. (2016). *Analaisi tagngan AKibat Beban Gelombang Pada Struktur kapal Perang tipe Corvette*. Surabaya: Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Seouluh Nopember.